

誘電体平行平板からなる入射偏波面無依存積層型偏波回転子

著者	大石 雅人
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	62
ページ	1-2
発行年	2021-03-24
URL	http://doi.org/10.15002/00023924

誘電体平行平板からなる入射偏波面無依存積層型偏波回転子

STACKED POLARIZATION ROTATOR COMPOSED OF DIELECTRIC LAYERS INDEPENDENT OF INCIDENCE POLARIZATION PLANE

大石雅人

Masato OISHI

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A polarization rotator (PR) consisting of stacked half-wave plates with dielectric layers is developed to obtain the wideband characteristics regardless of an incidence plane of polarization. The behavior of the stacked PR is explained with the help of the Jones matrix. The parametric study regarding the periodic length and thickness reveals that the phase difference exhibits an extreme value when the wavelength is changed. This serves to keep the phase difference close to π in a wide wavelength range.

Key Words : polarization rotator, Jones matrix, periodic structure

1. はじめに

複屈折率を利用した直線偏波回転子 (PR) は偏波制御デバイスとして様々な応用されている。通常の PR は複屈折率材料を通過する光波の位相差により偏波を制御する。位相差が π であるとき、入射した直線偏波が 90 度回転する 1/2 波長板となる。ただし、入射偏波面に依存し適切な偏波面でなければ十分な変換特性が得られない問題があった。この問題を解決するために、1/2 波長板を任意の角度で積層することで、交差角の 2 倍に入射偏波を回転する手法が提案されている [1]。しかしながら、この手法では、特定の波長のみしか、入射偏波面無依存性が得られない欠点があった。

一方、周期構造を用いた偏波制御デバイスに関心が集まっている [2]。偏波を制御する位相差は周期構造の単位セルの非対称性からも得ることができるので、2つの直交する固有モードの実効屈折率差を利用することで波長板を設計できると期待される。我々は、誘電体平行平板を積層することで入射偏波面に無依存な PR を実現できることを明らかにしてきた [3]。しかし、初期設計における PR の動作帯域は限られたものであった。周期構造では、バルク材料とは異なり、構造値の変化により実効屈折率差を可変できる特長があるので、広帯域に動作する構造を見出せる可能性がある [4]-[5]。

本稿では、入射偏波面に依存せず通信波長帯で広帯域に動作する PR を提案する。適切な周期長及び厚さを選択することで、位相差の波長特性が極値を持ち、広帯域に 1/2 波長板として動作することをジョーンズマトリクス (JM)[6] を用いて明らかにする。

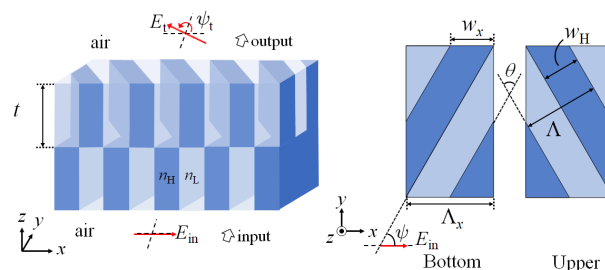


図 1 構造図

2. 本論

検討する構造外観とユニットセルを図 1 に示す。本稿では、入射波を水平偏波に固定し、任意の偏波面を便宜上、1 層目の変換板となす角度 ψ の可変により表現する。入射波は、垂直入射とする。平行平板を構成する 2 種類の誘電体には、シリコンと石英を想定し、本稿では $n_h = 3.5$, $n_l = 1.5$ に固定する。周期長を Λ , 平行平板の厚みを t とする。 n_h の占める割合を $f = w_h/\Lambda = 0.5$ とする。積層する平行平板の交差角を $\theta = 45^\circ$ とし、入射偏波面によらず直線偏波を特定の角度だけ回転させることを意図する。

(1) 広帯域化

広帯域特性を実現するために、周期長と厚さを変化させた際の、位相差 γ の変化を議論する。はじめに、厚さ t を $1.0 \mu\text{m}$ に固定し、周期長 Λ を変化させた際の位相差 γ の波長特性を図 2 に示す。図より、周期長を変化させると、通信波長帯域内の位相差 γ の変動が小さく抑えられる場合のあることがわかる。特に、周期長が $\Lambda = 0.36 \mu\text{m}$ や $0.42 \mu\text{m}$ では位相差の波長

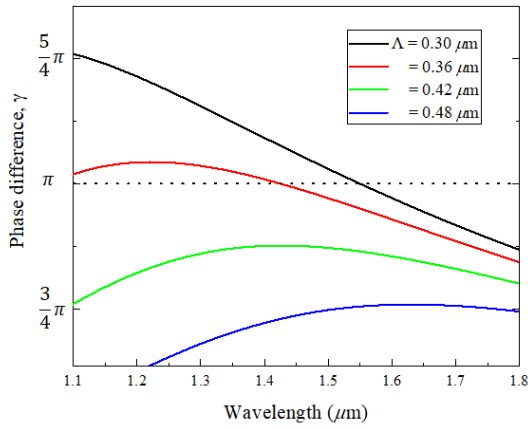


図 2 周期長に対する位相差の波長特性

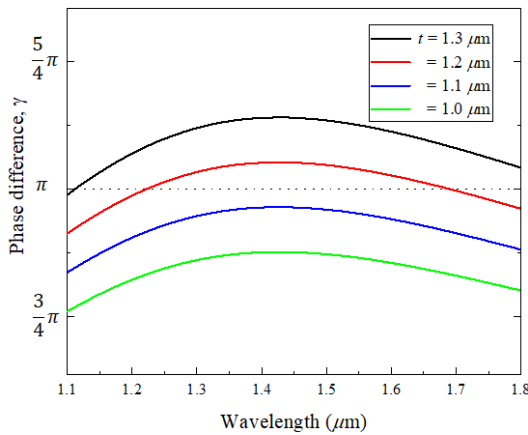


図 3 厚さに対する位相差の波長特性

特性に極値が生じていることが見出せる．この特性は従来の複屈折性を有する水晶では得ることができない． $\Lambda = 0.42 \mu\text{m}$ のときに，波長 $\lambda = 1.1 \sim 1.8 \mu\text{m}$ の範囲で，最も位相差の変化が少ないことから，周期長を $0.42 \mu\text{m}$ に選択するのが最適であると考えられる．

次に，厚さ t を変化させた際の位相差 γ の波長特性を図 3 に示す．周期長 Λ は，図 2 で最も位相差 γ の変化が少なかった， $\Lambda = 0.42 \mu\text{m}$ とする．図より，構造の厚さを $1.0 \mu\text{m}$ から厚くしていくことによって，極値を持つ特性を維持したまま，位相差 γ を大きくすることがわかる．結果として， $t = 1.2 \mu\text{m}$ のとき，波長 $\lambda = 1.1 \sim 1.8 \mu\text{m}$ の帯域で， γ が最も π に近い値を保っている．以上のことから，周期長を $\Lambda = 0.42 \mu\text{m}$ ，厚さを $t = 1.2 \mu\text{m}$ とすることで，広帯域に $1/2$ 波長板として動作することが期待される．

(2) 波長特性

最後に波長特性の確認を行う．図 4 に，平行平板の周期長を $\Lambda = 0.42 \mu\text{m}$ ，厚さを $t = 1.2 \mu\text{m}$ としたときの，JM より求めた偏波回転角 ψ_t と楕円率の波長特性を示す．図 3 から予想されたように，波長 $\lambda = 1.13 \sim 1.80 \mu\text{m}$ の波長帯域において入射偏波面によらず直

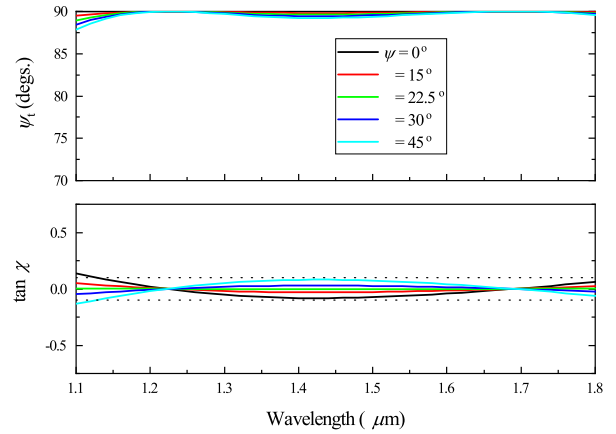


図 4 楕円率の入射角度特性

線偏波を維持し，88 度から 90 度の偏波回転を達成することが見出せる．文献 [1] で示されているような水晶を用いた PR では，図 4 に示した平行平板を用いた PR ほどの広帯域化は実現できない．

3. まとめ

入射偏波面に依存せず，広帯域に動作する偏波回転子 (PR) の提案を行った．はじめに，PR の広帯域特性を実現する方法を議論した．平行平板の周期長を $0.42 \mu\text{m}$ ，厚さを $1.2 \mu\text{m}$ とすることで，位相差の波長特性に極値が生じ，結果として波長 $\lambda = 1.1 \sim 1.8 \mu\text{m}$ の広帯域にわたって位相差が π に維持されることを見出した．その後，偏波回転角と楕円率の波長特性をジョーンズマトリクスで確認した．位相差の波長特性から予想されたように，波長 $\lambda = 1.13 \sim 1.80 \mu\text{m}$ の広帯域にわたって入射偏波面によらず直線偏波を維持し，88 度から 90 度の偏波回転を達成することを見出した．平行平板で広帯域特性を実現できるのは，任意の波長で位相差に極値が生じるためであることを明らかにした．

参考文献

- 1) D. Clarke, "Achromatic halfwave plates and linear polarization rotators," *Opt. Acta.*, vol. 14, no. 4, pp. 343-350, 1967.
- 2) M. Iwanaga, "Subwavelength orthogonal polarization rotator," *Opt. Lett.*, vol. 35, no. 2, pp. 109-111, 2010.
- 3) 朝生 龍也, 大石 雅人, 山内 潤治, 中野 久松, "平行平板からなる積層偏波回転子のジョーンズマトリクスを用いた一考察," 信学総大, C-3/4-3, 2020.
- 4) 大石 雅人, 朝生 龍也, 山内 潤治, 中野 久松, "誘電体平行平板からなる入射偏波面無依存積層型偏波回転子-広帯域特性の実現," 信学ソ大, C-3/4-4, 2020.
- 5) 大石 雅人, 朝生 龍也, 山内 潤治, 中野 久松, "誘電体平行平板からなる入射偏波面無依存積層型偏波回転子の広帯域化," 信学技報, vol. 120, no. 243, pp. 96-100, 2020.
- 6) P. Yeh, *Optical Waves in Layered Media*, Wiley, New York, 1988.